

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 05 396.4  
**Anmeldetag:** 11. Februar 2003  
**Anmelder/Inhaber:** Dr. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH,  
Traunreut/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren zur Spindelorientierung  
**IPC:** G 05 B, B 23 Q

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag



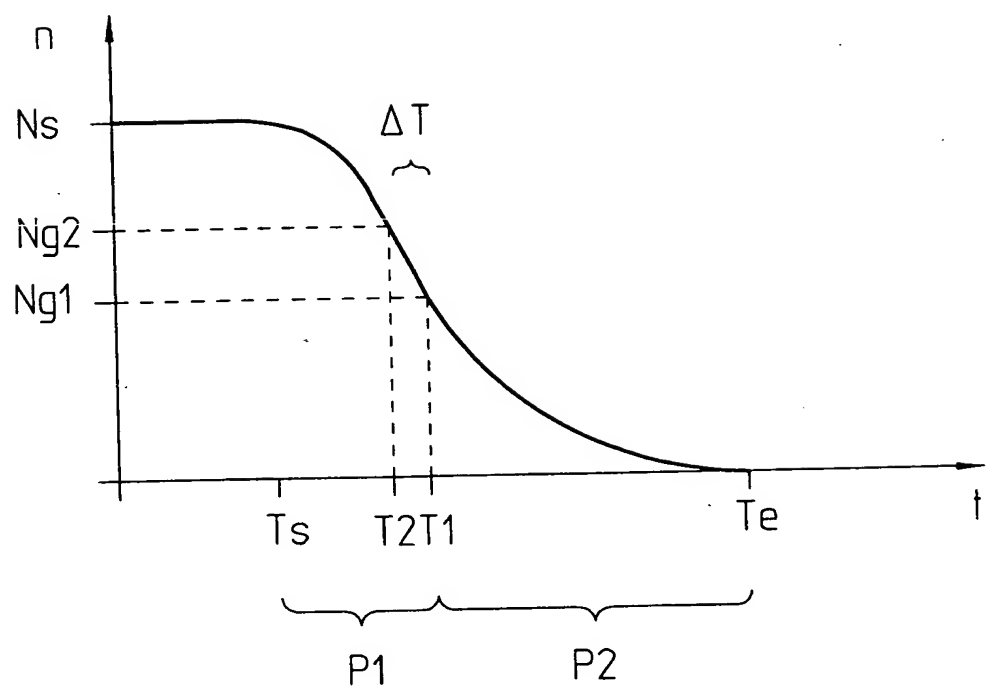
Schäfer

### Zusammenfassung

#### Verfahren zur Spindelorientierung

=====

Eine schnell drehende Spindel (6.2) wird in einer ersten Phase (P1) von einer Startdrehzahl ( $N_s$ ) auf eine erste Grenzdrehzahl ( $N_{g1}$ ) verzögert, und in einer zweiten Phase (P2) unter Lageregelung in eine definierte Ruheposition gebracht. Bereits während der ersten Phase (P1) wird ein positions- und/oder drehzahlstetiges Umschalten auf den Lageregler (2) vorbereitet. Ist dann die erste Grenzdrehzahl ( $N_{g1}$ ) erreicht, wird positions- und/oder drehzahlstetig auf Lageregelung umgeschaltet, wobei eine streng monoton fallende Drehzahl ( $n$ ) eingehalten wird. Nach der Umschaltung auf den Lageregler (2) wird die Spindel (6.2) in die definierte Ruhelage positioniert. (Figur 2)



Verfahren zur Spindelorientierung

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spindelorientierung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Ein solches Verfahren erlaubt es, eine schnell drehende Spindel etwa einer Werkzeugmaschine in sehr kurzer Zeit in einer definierten Lage zum Stillstand zu bringen, etwa um ein Werkzeug an der  
5 Spindel zu wechseln.

In modernen Werkzeugmaschinen kommen Spindeln zum Einsatz, die mit immer höheren Drehzahlen arbeiten. Für das so genannte high-speed-cutting werden Fräsköpfe verwendet, die z.B. mit 60000 Umdrehungen pro Minute betrieben werden. So lassen sich die Bearbeitungsgeschwindigkeiten  
10 im Vergleich zu langsameren Werkzeugspindeln erhöhen und damit die Bearbeitungszeiten senken. Die Produktivität einer Werkzeugmaschine steigt dadurch deutlich an.

Während eines Bearbeitungsvorganges ist es immer wieder nötig, die Spindel von ihrer hohen Drehzahl abzubremsen und in einer definierten Winkelstellung oder Lage zum Stillstand zu bringen. Dies kann z.B. bei einem  
15

Werkzeugwechsel notwendig sein, wenn ein Werkzeug nur in einer bestimmten Orientierung zur Spindel eingesetzt werden kann.

In einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine wird die Bewegung der Spindelachse von einer Numerischen Steuerung überwacht. Mittels einer kaskadierten Reglerstruktur aus Lageregler, Drehzahlregler und Strom- bzw. Drehmomentregler läßt sich die Spindel zumindest bei niedrigen Drehzahlen sehr genau kontrollieren, indem dem Lageregler die jeweils gewünschte Winkelstellung als Lagesollwert vorgegeben wird. Für sehr hohe Drehzahlen kann aber aus weiter unten näher erläuterten Gründen eine Lageregelung nicht mehr erfolgen. Es ist daher üblich, schnell drehende Spindeln mittels einer Drehzahlregelung auf die gewünschte Drehzahl zu bringen. Hierzu wird der Lageregler deaktiviert und ein Drehzahlsollwert unmittelbar dem Drehzahlregler aufgeschaltet.

Erfordert die Bearbeitung eines Werkstückes häufiges Stillsetzen der Spindel in einer definierten Lage, so wird die hierfür nötige Zeit ein gewichtiger Faktor für den Durchsatz an einer solchen Werkzeugmaschine. Es sind daher bereits Verfahren bekannt, die eine möglichst schnelle Spindelorientierung auch aus hohen Drehzahlen erlauben. Allen diesen Verfahren ist gemein, daß zunächst unter Kontrolle eines Drehzahlreglers die hohe Drehzahl so weit reduziert wird, bis eine Drehzahl erreicht wird, die auch durch einen Lageregler beherrschbar ist.

So beschreibt die EP 0,580,866 B1 ein solches Verfahren zur Spindelorientierung. Nach diesem Verfahren wird nach der Erzeugung eines Spindelorientierungsbefehls zunächst unter Kontrolle des Drehzahlreglers die Drehzahl auf eine Grenzdrehzahl N1 reduziert, indem dem Drehzahlregler eben diese Grenzdrehzahl N1 vorgegeben wird. Erst wenn diese Grenzdrehzahl N1 erreicht ist, werden Parameter berechnet, die es anschließend unter Lageregelung erlauben, auf einer zeitoptimierten Bahn die gewünschte Ruhelage anzufahren.

Nachteilig an den Verfahren dieser Art ist es, daß die Spindel nach dem Erreichen der Grenzdrehzahl, bei der die Umschaltung von Drehzahlregelung

auf Lageregelung erfolgen soll, erst einige Zeit mit der Grenzdrehzahl bewegt werden muß, um die nötigen Berechnungen für die Umschaltung in die Lageregelung auszuführen. Dies bedeutet einen erheblichen Zeitverlust für die Spindelorientierung, da in dieser Zeit keine weitere Bremsung der Spindel stattfindet. In den bekannten Verfahren ist es außerdem üblich, beim Erreichen der Grenzdrehzahl von maximaler Verzögerung auf konstante Drehzahl umzuschalten. Die zeitliche Ableitung der Beschleunigung, der Ruck, wird dadurch sehr groß, woraus eine hohe Belastung der Mechanik resultiert.

- 10 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem die zur Spindelorientierung nötige Zeit verkürzt werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Vorteilhafte Details des Verfahrens ergeben sich aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen.

- 15 Es wird nun vorgeschlagen, eine schnell drehende Spindel in einer ersten Phase von einer Startdrehzahl auf eine erste Grenzdrehzahl zu verzögern, und in einer zweiten Phase unter Lageregelung eine definierte Ruheposition anzusteuern. Bereits während dieser ersten Phase wird ein positions- und/oder drehzahlstetiges Umschalten auf den Lageregler vorbereitet. Ist  
20 dann die erste Grenzdrehzahl erreicht, wird positions- und/oder drehzahlstetig auf Lageregelung umgeschaltet, wobei eine streng monoton fallende Drehzahl eingehalten wird. Nach der Umschaltung auf den Lageregler wird die Spindel in die definierte Ruhelage positioniert.

- Besonders vorteilhaft wird der Bremsvorgang in der ersten Phase ausgeführt, in dem ein maximaler Strom und damit ein maximales Drehmoment zum Bremsen verwendet wird. Dieses Drehmoment kann dabei höher liegen als ein im normalen Betrieb der Spindel erlaubtes Drehmoment, da solche Bremsvorgänge nur gelegentlich und für kurze Zeit auftreten, so daß eine Überlastung des Spindelantriebs nicht zu befürchten ist. Es ist z.B. möglich,  
25 zum Bremsen der Spindel eine Solldrehzahl von Null vorzugeben, und den  
30 von einem Stromregler erzeugten Strom (der über die Motorkonstante pro-

portional zum bremsenden Drehmoment ist) nur durch eine Überwachungseinheit begrenzen zu lassen, die die Temperatur der Antriebselektronik und/oder des Spindelantriebs überwacht. So kann eine Überlastung des Spindelantriebs verhindert und dennoch mit maximalem Strom gebremst werden. Die erste Phase wird dadurch so kurz wie irgend möglich.

Um nun bei Erreichen der ersten Grenzdrehzahl ein positions- und drehzahlstetiges Umschalten auf den Lageregler überhaupt ermöglichen zu können, muß bereits vor dem Erreichen der ersten Grenzdrehzahl mit den notwendigen Berechnungen für das Umschalten begonnen werden. Damit hierfür während der ersten Phase auch genügend Zeit bleibt, wird zunächst überprüft, ob die Startdrehzahl oberhalb einer zweiten Grenzdrehzahl liegt, die höher als die erste Grenzdrehzahl zu wählen ist. Die Zeitspanne vom Erreichen der zweiten Grenzdrehzahl bis zum Erreichen der ersten Grenzdrehzahl muß groß genug sein, um die erforderlichen Vorbereitungen für das Umschalten auf den Lageregler zu ermöglichen. Das beschriebene Verfahren kommt also nur zur Anwendung, wenn die Startdrehzahl oberhalb der zweiten Grenzdrehzahl liegt.

Bei der Berechnung der Vorgabe für den Lageregler in der zweiten Phase kann schließlich eine Ruckbegrenzung vorgesehen werden. Es läßt sich mit dieser Randbedingung und der Spindellage und Spindeldrehzahl zum Umschaltzeitpunkt sowie der geforderten Ruhelage eine im Sinne der kürzest möglichen Zeit optimale Bahnkurve für die Spindel berechnen.

Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Verfahrens zur Spindelorientierung anhand der Figuren. Dabei zeigt

Figur 1 eine Vorrichtung zum Steuern einer Spindel,

Figur 2 ein Drehzahl - Zeit - Diagramm der Spindel,

Figur 3 ein Verfahren zur Spindelorientierung.

Figur 1 zeigt eine Vorrichtung zum Steuern einer Spindel 6.2. Eine Numerische Steuerung 1 gibt wahlweise Lagesollwerte  $x_{\text{soll}}$  an einen Lageregler 2 oder Drehzahlsollwerte  $n_{\text{soll}}$  an einen Drehzahlregler 4. Mittels eines Umschalters 3 kann die Numerische Steuerung 1 daher zwischen Lagerregelung und Drehzahlregelung umschalten. In beiden Fällen erzeugt der Drehzahlregler 4 ein Solldrehmoment  $m_{\text{soll}}$  oder einen Sollstrom  $i_{\text{soll}}$  (die beiden Sollwerte sind einander über die Motorkonstante proportional) für den Stromregler in der nachfolgenden Antriebselektronik 5. Der von der Antriebselektronik 5 eingestellte Motorstrom für den Spindelantrieb 6.1 entscheidet letztlich über die Beschleunigung der Spindel 6.2. Ein Drehzahlgeber 7 und ein Lagegeber 8 schließen die Regelschleifen, in dem ein Drehzahlwert  $n_{\text{ist}}$  und ein Lageistwert  $x_{\text{ist}}$  an den Drehzahlregler 4 bzw. den Lageregler 2 gegeben werden. Natürlich kann der Drehzahlwert  $n_{\text{ist}}$  auch durch Ableitung aus dem Lageistwert  $x_{\text{ist}}$  gewonnen werden.

Um eine Überlastung der Antriebselektronik 5 bzw. des Spindelantriebs 6.1 zu vermeiden, ist üblicherweise in der Numerischen Steuerung 1 ein Parameter gesetzt, der den maximal zulässigen Strom begrenzt. Zusätzlich kann eine Überwachungseinheit 9 vorgesehen werden, die die Temperatur in der Antriebselektronik 5 und/oder im Spindelantrieb 6.2 überwacht und bei zu hohen Temperaturen eine Begrenzung des Motorstromes und damit des Drehmoments bewirkt.

Bei der Spindel 6.2 handelt es sich vorzugsweise um eine direkt angetriebene Spindel 6.2, das beschriebene Verfahren bzw. die beschriebene Vorrichtung lassen sich aber auch für indirekt angetriebene Spindeln 6.2 verwenden.

Anhand der Figuren 2 und 3 soll nun das Verfahren beschrieben werden, das eine gegenüber dem Stand der Technik schnellere Spindelorientierung erlaubt.

Ausgangspunkt ist eine Spindel, die sich mit einer hohen Startdrehzahl  $N_s$  dreht, die größer ist als eine erste Grenzdrehzahl  $N_{g1}$ . Die Startdrehzahl  $N_s$  liegt insbesondere so hoch, daß keine Lagerregelung mehr möglich ist, da



aufgrund des nicht beliebig kurzen Lageregeltaktes der Numerischen Steuerung 1 pro Spindelumdrehung nicht mehr genügend Lagewerte des Lagegebers 8 ausgewertet werden können. Nach dem Abtasttheorem ist die Minimalforderung für eine Lageregelung die Auswertung von zwei Lagewerten pro Spindelumdrehung. Mit einem für eine Numerische Steuerung 1 typischen Lageregeltakt von 3 ms ergibt sich eine Drehzahl von 10000 U/min, die gerade noch mit Lageregelung beherrschbar ist.

Die erste Grenzdrehzahl  $Ng1$  sollte also niedriger gewählt werden als die gerade noch vom Lageregler 2 beherrschbare Drehzahl, da nach dem beschriebenen Verfahren beim Erreichen dieser ersten Grenzdrehzahl  $Ng1$  von Drehzahlregelung auf Lageregelung umgeschaltet wird.

Im beschriebenen Verfahren wird während einer ersten Phase P1, die zwischen dem Startzeitpunkt  $T_s$  und dem Zeitpunkt  $T1$  liegt, zu dem die erste Grenzdrehzahl  $Ng1$  erreicht wird, mit maximalem Drehmoment unter Drehzahlregelung verzögert bzw. gebremst. Es macht keinen Sinn, das beschriebene Verfahren anzuwenden, wenn die Startdrehzahl  $N_s$  nur wenig über der ersten Grenzdrehzahl  $Ng1$  liegt, da noch während der ersten Phase P1 in einem Schritt A ein positions- und/oder drehzahlstetiges Umschalten vorbereitet wird. Diese Vorbereitung benötigt eine gewisse Zeit, die nicht zur Verfügung steht, wenn die Startdrehzahl  $N_s$  zu knapp über der ersten Grenzdrehzahl  $Ng1$  liegt. In einem Schritt A wird das Verfahren daher vorzugsweise nur dann überhaupt gestartet, wenn die Anfangsdrehzahl  $N_s$  auch über einer zweiten Grenzdrehzahl  $Ng2$  liegt. Andernfalls kommen herkömmliche Verfahren zur Spindelorientierung zum Einsatz.

Da gemäß des beschriebenen Verfahrens in einem Schritt B zum Zeitpunkt  $T1$ , also dann wenn die Drehzahl der Spindel die erste Grenzdrehzahl  $Ng1$  erreicht, positions- und/oder drehzahlstetig von Drehzahlregelung auf Lageregelung umgeschaltet und damit die zweite Phase P2 eingeleitet wird, müssen bereits vor dem Zeitpunkt  $T1$  gewisse Vorbereitungen in der Numerischen Steuerung 1 getroffen werden. So müssen für eine positionsstetige Umschaltung zu wenigstens zwei Zeitpunkten vor der Umschaltung Lageistwerte  $x_{ist}$  ermittelt werden, die eine Extrapolation der Spindellage zum

Zeitpunkt T1 ermöglichen. Diese extrapolierte Spindellage wird beim Umschalten auf Lageregelung als Lagesollwert  $x_{\text{soll}}$  benötigt.

5 Genauso ist für ein drehzahlstetiges Umschalten die Ermittlung von wenigstens zwei Drehzahlwerten  $n_{\text{ist}}$  nötig, die eine Extrapolation der Drehzahl zum Zeitpunkt T1 ermöglichen. Diese Drehzahl wird unter Lageregelung als Vorsteuerwert für den Drehzahlregler 4 benötigt. Zusätzlicher Aufwand ist nötig, wenn auch noch eine beschleunigungsstetige Umschaltung erfolgen soll. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß ein kleiner Sprung in der Beschleunigung durchaus tolerierbar ist. Der im Stand der Technik nachteilige  
10 große Ruck beim Erreichen der Grenzdrehzahl  $Ng1$  wird bereits dadurch vermieden, daß die Verzögerung beim Umschalten aufrecht erhalten wird, wenn auch nicht notwendigerweise völlig ohne sprunghafte Änderung.

Um die genannten Berechnungen auszuführen, ist eine gewisse Zeit nötig, so daß eine Zeitspanne  $\Delta T$  zwischen dem Erreichen der zweiten Grenzdrehzahl  $Ng2$  (zum Zeitpunkt T2) und dem Erreichen der ersten Grenzdrehzahl  $Ng1$  (zum Zeitpunkt T1) diese Zeit nicht unterschreiten darf. Es sollte bei der  
15 Wahl von  $Ng2$  außerdem berücksichtigt werden, daß die erste Phase P1 wenigstens so lang sein sollte, daß die Spindel 6.2 mit maximaler Verzögerung gebremst wird. Zu Beginn der ersten Phase P1 ist aber die Verzögerung noch nicht maximal, wie an der geringen Steigung der Kurve in Figur 2  
20 kurz nach dem Startzeitpunkt  $T_s$  abzulesen ist.

Die zweite Grenzdrehzahl  $Ng2$  muß also so gewählt werden, daß die erste Phase P1 genügend Zeit läßt für die nötigen Vorbereitungen zum positions- und/oder drehzahlstetigen Umschalten von Drehzahlregelung auf Lageregelung im Schritt B. Die erste Phase P1 sollte außerdem wenigstens so  
25 lange dauern, daß die Spindel 6.1 die maximale Verzögerung erreicht.

Dank der vorab ermittelten Übergabewerte ist es nach dem beschriebenen Verfahren nun möglich, beim Umschalten in Schritt B eine streng monoton fallende Drehzahl  $n$  einzuhalten. Es ist nicht wie im Stand der Technik notwendig, die Spindel 6.2 für eine gewisse Zeit vor dem Umschalten auf Lage-  
30 regelung mit einer konstanten Drehzahl und damit ohne Verzögerung zu

betreiben, vielmehr kann kontinuierlich gebremst werden. Das Entfallen einer Phase mit konstanter Drehzahl bewirkt einen entscheidenden Zeitgewinn. Die mit einem Sprung von maximaler Verzögerung auf konstante Drehzahl verbundene Belastung der Mechanik kann außerdem bei monoton  
5 fallender Drehzahl weitestgehend, bzw. bei beschleunigungsstetiger Umschaltung sogar völlig vermieden werden.

Ein weiterer Zeitgewinn wird durch die Bremsung mit maximalem Strom und damit maximalem Drehmoment während der ersten Phase P1 erzielt. Dieser maximale Strom wird am einfachsten dadurch erzeugt, daß dem Drehzahl-  
10 regler 4 durch die Numerische Steuerung 1 eine Söldrehzahl  $n_{\text{soll}}$  von Null (oder jedenfalls ein sehr kleiner Wert deutlich unter der ersten Grenzdrehzahl  $Ng1$ ) vorgegeben wird. Ein vom Drehzahlregler 4 erzeugter Sollstrom  $i_{\text{soll}}$  wird dann so groß sein, daß der Spindelantrieb an der Stromgrenze gebremst wird. Natürlich kann der maximale Strom auch als Stromsollwert  
15  $i_{\text{soll}}$  direkt von der Numerischen Steuerung vorgegeben werden, wenn die Numerische Steuerung 1 einen entsprechenden Zugriff auf den Stromregler in der Antriebselektronik 5 hat. Es empfiehlt sich allerdings in beiden Fällen der Einsatz einer Überwachungseinheit 9, die die Temperaturen in der Antriebselektronik 5 und/oder im Spindelantrieb 6.1 überwacht und bei drohen-  
20 der Überhitzung den Strom begrenzt.

Bisher wurde vom erfindungsgemäßen Verfahren die erste Phase P1 beschrieben, einschließlich der Maßnahmen, die im Schritt A notwendig sind, um im Schritt B von der Drehzahlregelung auf die Lageregelung, und damit die zweite Phase P2, umzuschalten.

25 Für die zweite Phase P2 (Schritt C in Figur 3) wird nun durch die Numerische Steuerung 1 ein Bewegungsprofil berechnet, anhand dessen die Lagesollwerte  $x_{\text{soll}}$  für den Lageregler 2 ausgegeben werden können. Randbedingung für dieses Bewegungsprofil ist in jedem Fall der Ausgangspunkt der Bewegung, also die Lage der Spindel zu Beginn der zweiten Phase P2  
30 (Zeitpunkt  $T1$ ) und bei drehzahlstetiger Umschaltung in Schritt B auch die Drehzahl  $Ng1$  zum Zeitpunkt  $T1$ , sowie die definierte Ruhelage zum Endzeitpunkt  $T_e$  und die Enddrehzahl Null. Optional kann ein maximaler Ruck

- parametriert werden, der gegen Ende der zweiten Phase P2 oder auch während der gesamten zweiten Phase P2 den maximalen Ruck bzw. die maximale Änderung der Beschleunigung begrenzt. Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen kann ein Bewegungsprofil berechnet werden, das die
- 5 zweite Phase P2 in kürzest möglicher Zeit beendet.

Ansprüche

=====

1. Verfahren zur Spindelorientierung einer numerisch gesteuerten und schnell drehenden Spindel (6.2), mit dem die Spindel (6.2) von einer Startdrehzahl ( $N_s$ ) in eine vorgegebene Ruhelage gebracht wird, indem die Spindel (6.2) in einer ersten Phase (P1) auf eine erste Grenzdrehzahl ( $N_{g1}$ ) gebremst wird, und in einer zweiten Phase (P2) unter Lage-  
5 regelung die definierte Ruhelage angesteuert wird, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - (A) Einleiten einer Bremsung in der ersten Phase (P1), während der  
10 bereits ein positions- und/oder drehzahlstetiges Umschalten auf einen Lageregler (2) vorbereitet wird,
  - (B) positions- und/oder drehzahlstetiges Umschalten auf eine  
Lageregelung zu einem Umschaltzeitpunkt ( $T_1$ ) beim Übergang von der ersten Phase (P1) in die zweite Phase (P2), wobei die Drehzahl ( $n$ ) streng monoton fällt,
  - 15 (C) Positionieren der Spindel (6.2) mittels des Lagereglers (2) vom Umschaltzeitpunkt ( $T_1$ ) bis zum Erreichen der vorgegeben Ruhelage in der zweiten Phase (P2) zum Zeitpunkt ( $T_e$ ).
2. Verfahren zur Spindelorientierung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bremsung in Schritt (A) mit einem maximal möglichen  
20 Strom vorgenommen wird.
3. Verfahren zur Spindelorientierung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der maximal mögliche Strom von einer Überwachungseinheit (9) vorgegeben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Überwachungseinheit (9) die Temperatur von Spindelantrieb (6.1) und/oder Antriebselektronik (5) überwacht und bei drohender Überhitzung den maximalen Strom begrenzt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bremsung in Schritt (A) vorgenommen wird, indem dem Drehzahlregler (4) eine kleine Solldrehzahl ( $n_{\text{soll}}$ ) deutlich unterhalb der ersten Grenzdrehzahl ( $Ng1$ ), vorzugsweise eine Solldrehzahl ( $n_{\text{soll}}$ ) von Null vorgegeben wird.
- 10 6. Verfahren zur Spindelorientierung nach einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Grenzdrehzahl ( $Ng2$ ) oberhalb der ersten Grenzdrehzahl ( $Ng1$ ) so gewählt wird, daß zwischen dem Erreichen der zweiten Grenzdrehzahl ( $Ng2$ ) und dem Erreichen der ersten Grenzdrehzahl ( $Ng1$ ) eine Zeitspanne ( $\Delta T$ ) vergeht, die eine Vorbereitung des Lagereglers (2) zur positions- und/oder drehzahlstetigen Umschaltung von der Drehzahlregelung auf die Lageregelung erlaubt, und  
15 daß das Verfahren zur Spindelorientierung nur angewandt wird, wenn die Startdrehzahl ( $Ns$ ) oberhalb der zweiten Grenzdrehzahl ( $Ng2$ ) liegt.
- 20 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Zeitspanne ( $\Delta T$ ) wenigstens zwei Lageistwerte ( $x_{\text{ist}}$ ) und/oder Drehzahlwertwerte ( $n_{\text{ist}}$ ) ermittelt werden, die eine Extrapolation der Lage und/oder Drehzahl der Spindel (6.2) zum Zeitpunkt ( $T1$ ) der Umschaltung zwischen Drehzahlregelung und Lageregelung erlauben.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Phase (P2) dem Lageregler (2) Lagesollwerte ( $x_{\text{soll}}$ ) so vorgegeben werden, daß ein ruckbegrenztes Anfahren der vorgegebenen Ruhelage bewirkt wird.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein maximaler Ruck für das ruckbegrenzte Anfahren der vorgegebenen Ruhelage vorgegeben wird.

10. Numerische Steuerung für eine Werkzeugmaschine, eingerichtet für ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

FIG. 1

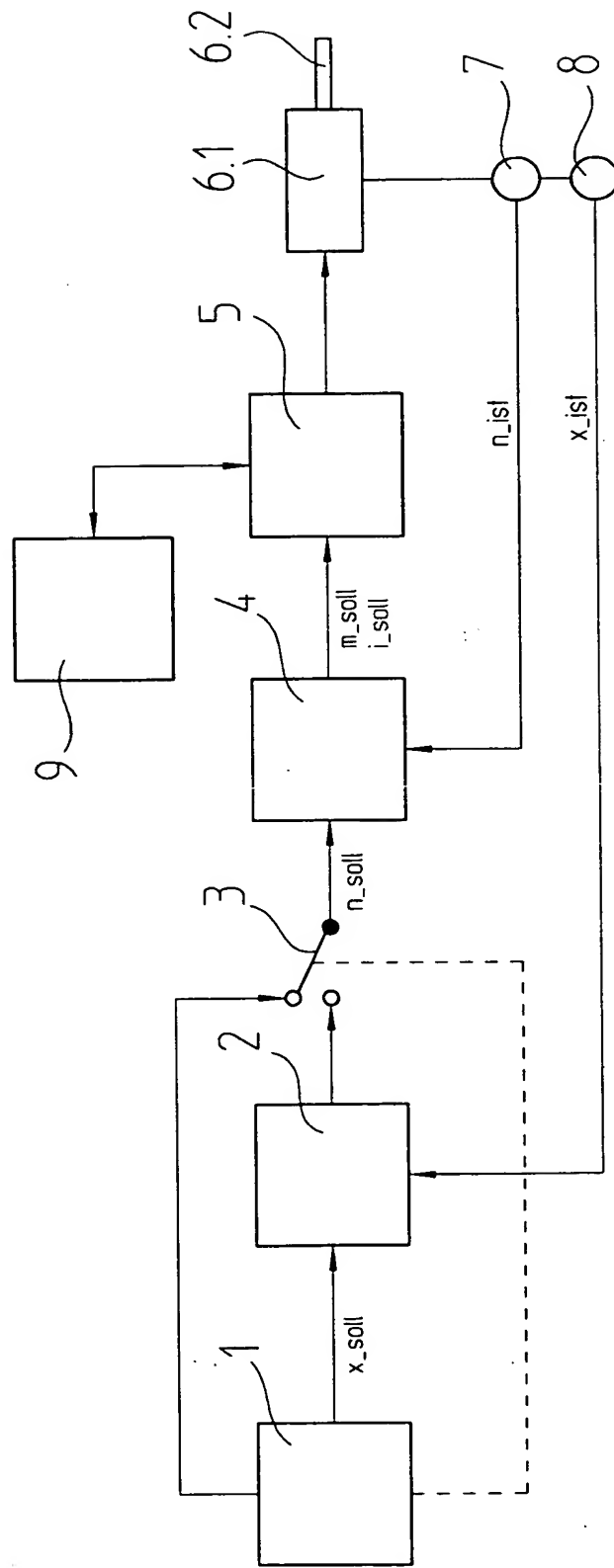




FIG. 2

2/2

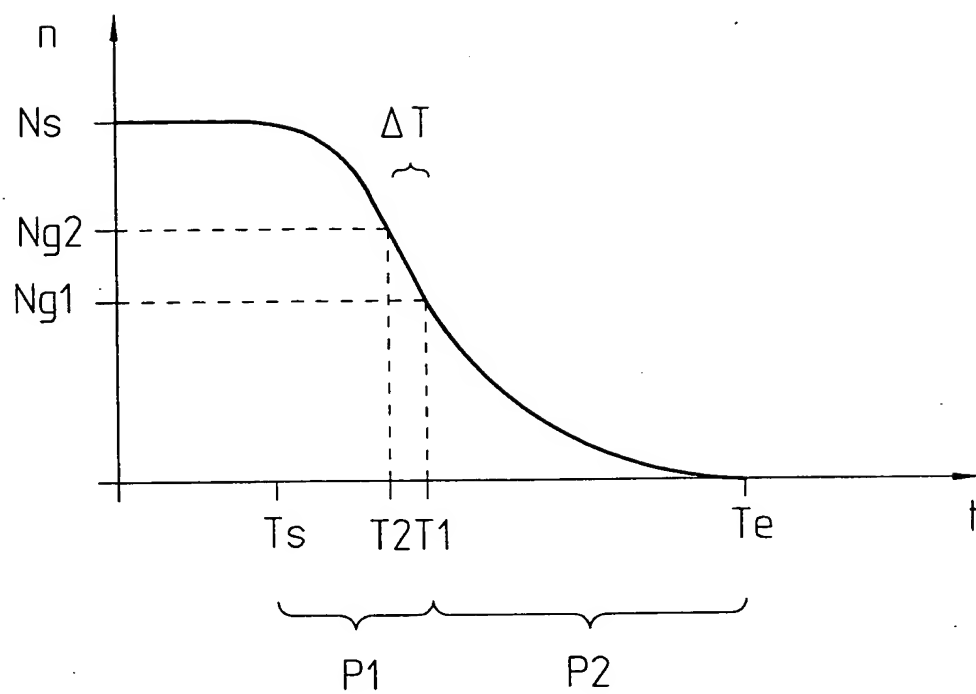


FIG. 3

